

石油污水处理技术措施优化

李蓓蓓

河南油田工程科技股份有限公司 河南 郑州 450000

摘要：石油污水若未经有效处理直接排放，会对生态环境造成严重破坏，威胁人类健康与生态平衡，因此石油污水处理极为必要。本文详细分析了石油污水处理技术，包括物理、化学、生物处理技术及其特点，同时深入探讨现有工艺处理污水中“油”面临的乳化油处理难、低浓度污水深度处理困境以及工艺运行稳定性与适应性问题。针对这些，提出工艺组合优化，如合理搭配预处理、主体处理与深度处理工艺；新技术研发应用，如新型破乳剂与膜技术；智能化监控管理，利用物联网与大数据提升处理效能等优化策略，旨在提高石油污水处理水平。

关键词：石油污水；处理技术；措施优化

引言：石油作为重要能源资源，在开采、运输、炼制等过程中产生大量含油污水。这些污水含有石油类物质、有机物、重金属等污染物，若肆意排放，将导致土壤污染、水体富营养化、生态系统失衡等一系列严重后果。随着环保要求日益严格，石油污水处理已成为石油工业可持续发展的关键环节。深入研究石油污水处理技术及其优化策略，对于提升处理效率、降低处理成本、减少环境污染具有极为重要的意义，为石油行业的绿色发展提供坚实保障。

1 石油污水处理的必要性

石油污水，作为石油开采、炼制及运输过程中不可避免产生的副产品，其妥善处理对于环境保护和生态平衡至关重要。石油污水中含有大量的烃类化合物、重金属、盐类以及其他有害物质，如果未经有效处理直接排放到自然环境中，将对水体、土壤和空气造成严重的污染。首先，石油污水中的烃类化合物是主要的污染源，它们在水中难以降解，会消耗水中的溶解氧，导致水质恶化，影响水生生物的生存，烃类化合物还会通过食物链传递，最终对人类健康构成威胁。其次，石油污水中含有的重金属如铅、汞、镉等，具有显著的生物累积性和生物放大效应，能够在生物体内富集，并通过食物链逐级放大，对人类和其他生物的健康产生长期危害^[1]。

2 石油污水处理技术分析

2.1 物理处理技术

(1) 重力分离法

重力分离法基于油与水之间存在显著的密度差异这一物理特性，实现二者的初步分离。其核心原理是在重力作用下，密度较小的油滴会逐渐上浮至水面，从而与水相分离。典型的设备包括平流式隔油池，其结构简单，水流呈水平方向缓慢流动，油滴有充足时间上浮聚

集；斜板式隔油池则通过设置倾斜的板体，缩短油滴上浮距离，提高分离效率。然而，重力分离法存在一定局限性。它对于游离态的油类去除效果尚可，但面对乳化油时，由于乳化油滴粒径小且稳定性强，难以单纯依靠重力有效分离，导致其分离效率大打折扣，并且在处理高含油污水时，可能需要较大的占地面积和较长的停留时间，增加了处理成本与设施建设难度。

(2) 过滤法

过滤法借助不同过滤介质的拦截、吸附等作用去除石油污水中的杂质与部分污染物。常见的过滤介质有石英砂、活性炭、纤维球等。石英砂过滤主要依靠砂粒间的孔隙对悬浮物进行机械拦截；活性炭则除了物理吸附作用外，其丰富的孔隙结构还能吸附一些溶解性有机物；纤维球过滤具有精度高、纳污量大等优点，纤维球的可压缩性使其在过滤过程中能形成更为致密的滤层。在石油污水处理流程中，污水通常先经过初步沉淀等预处理后进入过滤单元，根据水质要求与处理规模选择合适的过滤工艺与介质。但过滤法受滤速影响显著，滤速过快易导致穿透现象，影响出水水质；进水水质若含有大量粘性物质或油污，可能造成滤料堵塞，缩短过滤周期，增加反冲洗频率与成本，降低处理系统的稳定性与经济性。

2.2 化学处理技术

(1) 混凝沉淀法

混凝沉淀法是石油污水处理中常用的化学处理手段。其核心在于利用混凝剂对污水中的污染物进行凝聚和沉淀。常用的混凝剂包含铝盐（如硫酸铝）、铁盐（如三氯化铁）及其复合药剂。这些混凝剂在水中会发生水解反应，形成具有吸附架桥和电中和能力的水解产物。例如，铝盐水解产生的氢氧化铝胶体，能够吸附污

水中的悬浮油滴、胶体颗粒以及部分溶解性有机物,使它们相互聚集形成较大的絮体。在实际操作中,混凝反应的条件至关重要,pH值会显著影响混凝剂的水解形态和絮凝效果,适宜的搅拌强度与时间则能确保混凝剂与污染物充分接触混合并形成稳定絮体。然而,在沉淀过程中,可能会出现沉淀不完全、污泥体积较大等问题,且产生的污泥后续处置较为麻烦,若处理不当易造成二次污染,同时对一些复杂的有机污染物去除效果有限。

(2) 化学氧化法

化学氧化法通过氧化剂的强氧化性来分解石油污水中的各类污染物。氧化剂的选择较为多样,臭氧具有强氧化性且反应后无二次污染残留,可有效氧化降解石油类物质和多种难降解有机物,同时还能起到脱色除臭的作用;双氧水在催化剂存在下能产生具有高活性的羟基自由基,对污水中的有机污染物进行深度氧化。例如在处理含酚类石油污水时,化学氧化法能将酚类物质逐步氧化为无害的二氧化碳和水。不过,化学氧化法的成本相对较高,氧化剂的制备、储存与投加都需要一定的设备与条件。而且,若氧化反应控制不当,可能会产生一些中间产物,这些中间产物可能具有一定的毒性或难以进一步降解,从而带来二次污染风险,因此在实际应用中需要精确控制反应条件与氧化剂投加量。

2.3 生物处理技术

(1) 活性污泥法

活性污泥法是石油污水处理的重要生物处理技术。它依赖于活性污泥中的微生物群体来降解污水中的有机污染物。活性污泥由细菌、真菌、原生动物和后生动物等多种微生物构成,这些微生物利用污水中的有机物作为碳源和能源进行新陈代谢。在传统活性污泥法基础上,衍生出如A/O(缺氧/好氧)、A²/O(厌氧/缺氧/好氧)等变形工艺。在A/O工艺中,缺氧段可进行反硝化脱氮,好氧段则完成有机物的氧化分解和氨氮的硝化。然而,活性污泥法运行时面临诸多挑战。例如,当水质、水量发生较大变化或有毒有害物质进入时,易引发污泥膨胀现象,导致污泥沉降性能变差,泥水分离困难,进而影响出水水质。此外,污泥流失问题也较为常见,这不仅降低了处理效率,还增加了污泥处理成本和环境风险。

(2) 生物膜法

生物膜法利用微生物在固体表面附着生长形成生物膜来处理石油污水。生物膜的形成始于微生物在载体表面的吸附定植,随后微生物不断繁殖并分泌胞外聚合物,使其逐渐增厚形成稳定的生物膜结构。生物膜反应器有多种类型,如生物滤池,污水流经滤料时,生物膜

中的微生物摄取其中的营养物质进行降解转化;生物转盘则是通过转盘的转动,使生物膜交替与污水和空气接触,实现污染物的去除与微生物的新陈代谢。生物膜法具有较强的抗冲击负荷能力,因为生物膜内部存在不同的微生物群落分层,能适应水质、水量的波动变化。但生物膜在生长过程中会逐渐增厚,当达到一定程度时,会出现生物膜脱落现象,若脱落的生物膜不能及时被处理,会影响处理效果,并且可能导致出水悬浮物增加,同时生物膜法对处理设施的维护管理要求较高,需要定期检查生物膜的生长状况和载体的性能^[2]。

3 现有工艺在处理污水中“油”时面临的困难

3.1 乳化油处理难题

乳化油在污水中以微小油珠的形式稳定存在,其粒径通常在0.1-10微米之间,这使得分离极为困难。乳化油与水形成的乳状液具有较高的稳定性,常规的重力沉降法几乎无法实现有效分离,因为油珠上浮速度极慢。采用气浮法时,乳化油表面的乳化剂会阻碍气泡与油珠的黏附,降低气浮效果。化学破乳虽可破坏乳化状态,但往往需要精确控制破乳剂的种类、用量和反应条件,否则可能导致破乳不完全或产生二次污染。而且,乳化油中的一些成分可能与破乳剂发生复杂的化学反应,形成难以处理的中间产物,进一步增加处理难度。此外,处理乳化油的工艺设备通常较为复杂,投资和运行成本较高,且维护难度大,一旦某个环节出现故障,整个处理系统的性能就会受到显著影响。

3.2 低浓度含油污水深度处理困境

低浓度含油污水中油含量虽低,但要达到更严格的排放标准或回用标准,仍面临诸多挑战。由于油浓度低,传统的除油工艺如隔油池、气浮等对其处理效果有限,难以将油含量进一步降低到深度处理要求的水平。吸附法在处理低浓度含油污水时,吸附剂的选择至关重要,但合适的吸附剂往往成本较高,且吸附容量有限,需要频繁更换或再生,增加了运行成本和操作复杂性。膜分离技术虽然能有效截留低浓度的油分子,但膜污染问题严重,随着处理时间的增加,膜通量会急剧下降,导致处理效率降低,膜清洗和更换成本高昂。生物处理法对于低浓度含油污水中的有机油类有一定的降解作用,但微生物对油类的降解速率较慢,处理周期长,而且低浓度含油污水中的一些难降解有机物可能会抑制微生物的活性,影响处理效果的稳定性。

3.3 工艺运行稳定性与适应性问题

在污水处理过程中,工艺运行的稳定性易受多种因素干扰。污水的水质水量波动是常见问题,当进水水质

发生较大变化,如含油量突然升高、污水中出现新的污染物种类时,现有工艺可能无法及时调整处理参数,导致处理效果下降。例如,一些生物处理工艺在面对高浓度冲击性含油污水时,微生物群落结构会遭到破坏,需要较长时间才能恢复,影响整个工艺的稳定运行。设备老化和故障也是影响工艺稳定性的重要因素,处理污水的设备长期处于恶劣的工作环境中,容易出现腐蚀、磨损、堵塞等问题,若维护不及时,会造成工艺中断或处理效果恶化。此外,不同地区、不同来源的污水特性差异较大,现有工艺的适应性有限,难以在各种复杂工况下都保持良好的处理效果。

4 石油污水处理技术措施优化策略

4.1 工艺组合优化

工艺组合优化是提升石油污水处理效果的关键策略。首先,应根据污水的水质特点,如含油类型(浮油、乳化油、溶解油)、有机物含量、酸碱度等,合理搭配预处理、主体处理和深度处理工艺。例如,对于含大量浮油的污水,可先采用重力隔油池进行初步分离,去除大部分浮油后,再利用气浮工艺进一步去除乳化油,后续衔接生物处理或膜处理工艺深度降解有机物和去除残余油类。其次,注重不同工艺间的协同作用,如将化学絮凝与生物处理相结合,絮凝剂可快速絮凝沉淀部分污染物,减轻生物处理的负荷,生物处理则能进一步分解絮凝剂难以去除的有机污染物,提高整体处理效率。

4.2 新技术研发与应用

一方面,开发高效的破乳剂是处理乳化油的重要方向。新型破乳剂应具备针对性强、破乳速度快、用量少且环境友好等特点,能够在复杂的污水环境中迅速破坏乳化油的稳定结构,提高油珠的聚并和分离效率。例如,一些基于纳米材料的破乳剂,利用其高比表面积和特殊的物理化学性质,展现出优异的破乳性能。另一方面,膜技术的创新应用也备受关注。研发抗污染性能强、通量高的新型膜材料,如有机-无机杂化膜,可有效解决传统膜分离过程中的膜污染问题,提高膜的使用寿命和处理效率。此外,高级氧化技术的发展,如基于

光催化、电化学氧化等原理的新型氧化工艺,能够产生强氧化性的自由基,快速降解石油污水中的难降解有机物,将大分子有机物分解为小分子物质,便于后续工艺进一步处理,提升整体处理效果^[3]。

4.3 智能化监控与管理

智能化监控与管理能极大提升石油污水处理的效能与可靠性。借助物联网技术,在污水处理系统的各个关键节点安装传感器,实时采集流量、含油量、酸碱度、温度等数据,并通过无线传输将数据汇总至监控中心。利用大数据分析技术,对大量的历史数据和实时数据进行深度挖掘,建立污水处理模型,预测不同工况下的处理效果,提前发现潜在问题并给出优化建议。例如,根据进水水质的变化动态调整药剂投加量、设备运行参数等。同时,采用智能化的设备管理系统,对污水处理设备的运行状态进行实时监测,如设备的振动、噪声、能耗等,通过智能诊断算法及时发现设备故障隐患,提前安排维护保养,减少设备突发故障导致的停机时间。

结束语

在石油工业蓬勃发展的进程中,石油污水处理的优化工作任重道远。通过对工艺组合的精心雕琢、新技术的持续探索与应用以及智能化监控管理系统的构建,我们在石油污水处理领域正逐步迈向新的高度。然而,仍需不断投入研发力量,密切关注行业动态与技术革新,以应对日益复杂的污水成分和严苛的环保标准。只有如此,才能确保石油污水处理技术持续发展,实现石油产业与生态环境的和谐共生,为后代留下清洁、健康的地球家园。

参考文献

- [1]张雷.油田含油污水处理及回用技术的应用[J].中国新技术新产品,2019(11):88-88.
- [2]李海燕,臧芳.浅析含油污水微生物处理方案的具体应用技术[J].科技创新与应用,2019(15):104-104.
- [3]孙颖.含油污水处理工艺优化方案浅析[J].中国化工贸易,2019,7(32):123-134